

Е. В. Иванов¹, Н. Н. Загиров¹, Ю. Н. Логинов²

¹Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск

²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург

kafomd_1@mail.ru

ПРОЯВЛЕНИЯ НЕСПЛОШНОСТИ ПРИ РЕЦИКЛИНГЕ НЕМЕРНЫХ ОТРЕЗКОВ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Разработана принципиальная схема получения длинномерной медной проволоки из представляющих отходы производства отдельных ее фрагментов, базирующаяся на применении только методов обработки давлением и термообработки. В экспериментальной работе выявлены дефекты сплошности, что снижает уровень механических характеристик по сравнению с проволокой, изготовленной из компактной меди.

Ключевые слова: медь, проволочные отходы производства, брикетирование, экструзия, волочение, отжиг, механические свойства, структура.

E. V. Ivanov, N. N. Zagirov, Yu. N. Loginov

DISTINCONNABILITY IN RECYCLING OF THE MEDIUM WIRE LININGS

The principal scheme for obtaining long-length copper wire from waste products of individual fragments representing waste is developed, based on the use of only methods of pressure treatment and heat treatment. In the experimental work, defects of continuity were detected, which reduces the level of mechanical characteristics compared to a wire made of compact copper.

Keywords: copper, wire wastes of production, briquetting, extrusion, drawing, annealing, mechanical properties, structure.

В отличие от сплавов меди (бронз, латуней) сама медь выступает в роли материала не конструкционного, а функционального назначения. В результате большая часть изделий из меди выпускается в виде проводников тока и труб различного диаметра. Известно, что в структуре себестоимости готовой продукции во многих случаях около 50 % занимает стоимость исходного сырья. Поэтому поиск наиболее рациональных путей использования для изготовления конкретных изделий соответствующих отходов производства будет способствовать снижению общего расхода металла на единицу готовой продукции.

При рассмотрении вопросов, касающихся переработки сыпучих сортных металлических отходов, минуя плавильный передел [1], важное значение имеет предполагаемая область применения получаемых таким образом металлоизделий. Одним из вариантов, который представляется наиболее логичным, является изготовление из имеющихся в наличии отходов непосредственно той продукции, которая и послужила основой для их образования. В первую очередь это касается обрывков и кусочных фрагментов отходов холодноотянутой проволоки.

Источники возникновения отходов в этой области следующие.

- Непосредственно в производстве длинномерных изделий методом волочения возникает передняя обрезь из-за необходимости утонения переднего конца для заправки в волоку.
- На волочильных станах, реализующих процесс непрерывного волочения, применяется сварка заготовок встык, для чего торцы соседних заготовок подвергают обрезке с возникновением отходов.
- При сварке заготовок образуется грат, который должен быть удален и который представляет собой самостоятельный вид отходов производства [2].
- Волочильный передел так или иначе сопровождается обрывностью [3], с большим количеством причин ее происхождения, при перезаправке станов возникают дополнительные отходы в виде немерных отрезков проволоки.
- В технологии производства электрических машин и трансформаторов поставка проводника тока осуществляется с избытком по длине, после намотки статора, ротора или сердечника этот избыток остается в виде немерного отрезка проволоки, представляющего в таком состоянии отходы производства.

Этот перечень показывает, что источники появления отходов являются не случайными, а постоянными факторами реального производства.

В работе в качестве исходного материала для получения изделий были выбраны сортные отходы в виде проволочной обрезки из меди марки М1, диаметр 2,2 мм; временное сопротивление разрыву 270 ± 5 МПа; относительное сужение $\Psi = 50 \%$.

Разработанная общая технологическая схема изготовления длинномерной проволоки предполагала выполнение следующих основных операций.

Подготовка исходных компонентов к компактированию, подразумевающая, в силу специфики их происхождения, лишь незначительную очистку от посторонних включений и промывку в содовом растворе для удаления следов смазки.

Горячее брикетирование в жесткой пресс-форме при температуре порядка 450–500 °С, давлении брикетирования 200 МПа и времени выдержки при этом давлении в течение 5 мин.

В результате были получены прессовки с соотношением высоты к диаметру, равным порядка 0,75. Интегральная плотность прессовки составляла 8,3 г/см³, что соответствовало относительной плотности около 93 %.

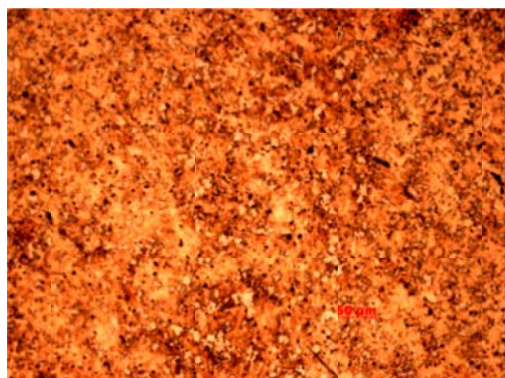
Нагрев прессовки до температуры 900 °С в стоящей рядом с вертикальным прессом усилием 1 МН печи, подача нагретой заготовки к прессу и горячая экструзия через коническую матрицу прямым методом.

Однократное холодное волочение на цепном волочильном стане усилием 50 кН, осуществляемое по маршруту: 6,0–5,0–4,0–3,5–3,0–2,6–2,2 мм. При его составлении учитывалась возможность проведения после одного из этапов обработки давлением операции «отжиг» при температуре 500 °С и времени выдержки 60 мин.

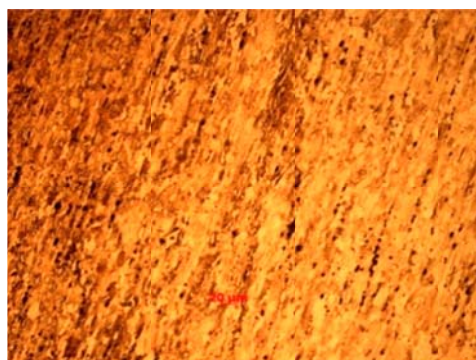
Одновременно с выполнением механических испытаний полученной проволоки с использованием микроскопа AXIO OBSERVER.D1m были проведены исследования ее структуры в продольном и поперечном направлениях (рис.). В качестве сравниваемых объектов были выбраны: фрагмент исходных кусочных проволочных отходов (характерная структура приведена на рис. а); проволока диаметром 2,2 мм, изготовленная из горячепрессованного прутка без проведения промежуточного отжига (рис. б); проволока того же диаметра, изготовленная с промежуточным отжигом на диаметр 4 мм (рис. в). Из сопоставления структур следует, что полученная из отходов проволока не совсем отвечает требованиям по сплошности. Причем в большей мере это касается периферийных участков проволоки, где в первую очередь и начинают появляться разрывы. Формоизменение дефектов при волочении рассмотрено в статьях [4, 5], где было показано, что размер несплошности может быть уменьшен при рациональном выборе обжатий.

Кроме того, при волочении сплошность может нарушаться в результате создания сложной схемы напряженного состояния с преобладанием растягивающих напряжений в местах присутствия дефектов типа частиц оксидов, что показано в работах [6, 7].

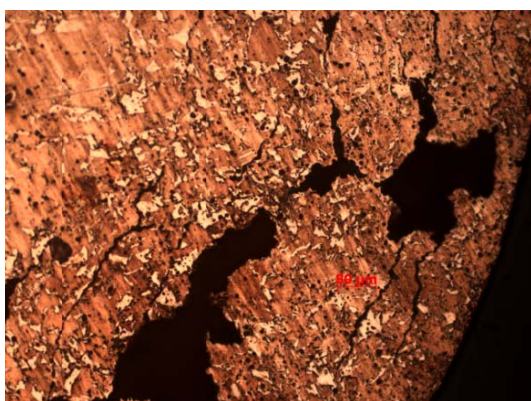
поперечное сечение



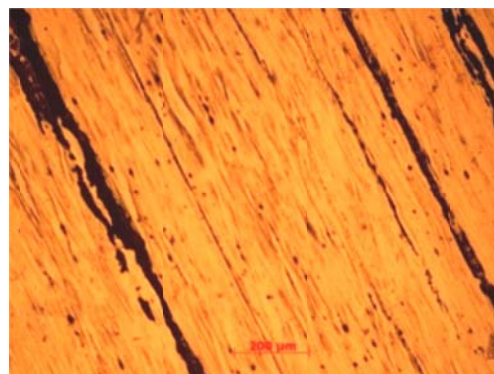
продольное сечение



a



б



в

Рис. Характерная микроструктура ($\times 200$) исходных кусочных проволочных фрагментов (*a*) и проволоки $\varnothing 2,2$ мм, полученной из них без проведения промежуточного отжига (*б*) и с отжигом на $\varnothing 4$ мм (*в*)

Таким образом, принципиально получить длинномерную медную проволоку из ее отдельных кусочных фрагментов, представляющих собой отходы производства, используя только методы обработки давлением, особых сложностей не представляет. На всех стадиях ее изготовления, включающих этапы горячего брикетирования (прессования), горячей экструзии, холодного волочения и промежуточной термообработки, поведение материала носит предсказуемый характер, во многом схожий с поведением соответствующих полуфабрикатов из компактной меди.

Комбинируя величиной суммарного относительного обжатия при волочении и местом проведения промежуточного рекристаллизационного отжига, можно варьировать уровнем достигаемых у получаемой проволоки прочностных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загиров Н. Н. Технологические основы получения материалов и изделий из сыпучих стружковых отходов меди и ее сплавов методами обработки давлением / Н. Н. Загиров, Ю. Н. Логинов. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. 171 с.
2. Deformations and structure of metal during cold butt-seam welding of copper blanks / Y. N. Loginov [et al.] // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2012. V. 53. Iss. 1. P. 45–53.
3. Логинов Ю. Н. Исследование изменения относительного сужения кислородсодержащей медной проволоки по маршруту волочения / Ю. Н. Логинов, А. С. Осминин, Т. П. Копылова // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 5. С. 29–32.
4. Логинов Ю. Н. Формоизменение одиночно расположенной поры в круглой заготовке при волочении / Ю. Н. Логинов, К. В. Еремеева // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2009. № 4. С. 3–8.
5. Логинов Ю. Н. Влияние типа пластической деформации на видоизменение одиночной поры / Ю. Н. Логинов, К. В. Еремеева // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 4. С. 40–44.
6. Interaction of a copper oxide particle with copper in drawing / Y. N. Loginov [et al.] // Russian Metallurgy (Metally). 2012. V. 11. P. 947–953.
7. Garcia V. G. Role of Cu₂O during hot compression of 99.9% pure copper / V. G. Garcia, J. M. Cabrera, J. M. Prado // Materials Science and Engineering A. 2008. V. 488. P. 92–101.